

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-044124

(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

C23C 16/30

H01L 21/20

H01L 33/00

(21)Application number : 11-213244

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 28.07.1999

(72)Inventor : YAMOTO HISAYOSHI

YAGI HAJIME

YAMANAKA HIDEO

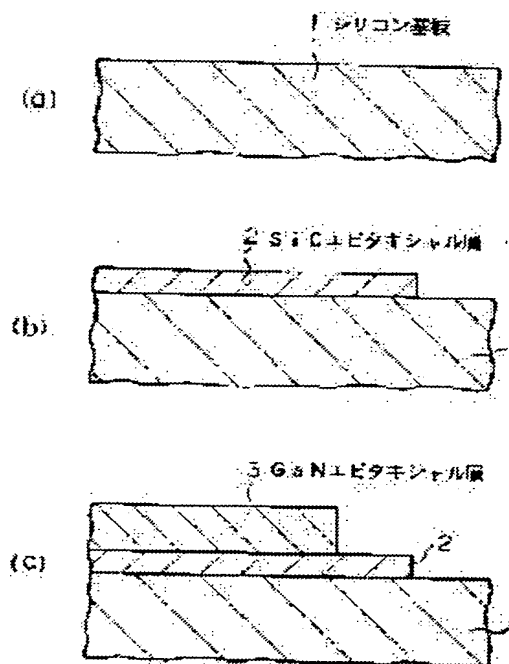
SATO YUICHI

(54) FORMATION OF EPITAXIAL LAYER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent generation of large thermal distortion between an epitaxial layer and a substrate obtained through crystal-growth of silicon carbide by the catalyst CVD method on a silicon substrate and crystal-growth of gallium nitride by the catalyst CVD method on the obtained SiC epitaxial layer.

SOLUTION: A silicon substrate 1 is washed and dried and silicon carbide is crystal-grown on the surface of the silicon substrate 1 with a catalyst CVD apparatus in view of forming the SiC epitaxial layer 2 on the surface of silicon substrate 1. Next, the silicon substrate 1 having formed the SiC epitaxial layer 2 is cleaned and dried to form a GaN epitaxial layer on the SiC epitaxial layer 2 formed as explained above. Thereafter, as in the case of formation of SiC epitaxial layer 2, a GaN is crystal-grown on this epitaxial layer 2 by the catalyst CVD method in the catalyst CVD apparatus in order to form the GaN epitaxial layer 3 on the SiC epitaxial layer 2.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The formation approach of the epitaxial layer characterized by carrying out crystal growth of the silicon carbide with a catalyst CVD method, forming a SiC epitaxial layer on a silicon substrate, carrying out crystal growth of the gallium nitride with a catalyst CVD method, and forming a GaN epitaxial layer on the obtained SiC epitaxial layer.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the formation approach of the epitaxial layer which forms a silicon carbide epitaxial layer and a gallium nitride epitaxial layer on the same silicon substrate.

[0002]

[Description of the Prior Art] Generally, there are various things, such as light emitting devices, such as light emitting diode (LED) and semiconductor laser (LD), in semiconductor devices, such as diode and various kinds of transistors, and a part at some which are called a semiconductor device.

[0003] Although a direct component is usually formed in a silicon wafer in order to form a semiconductor device as such a semiconductor device, how to form the epitaxial layer of silicon carbide (SiC) for example, on a silicon wafer (silicon substrate), and form a component in this SiC epitaxial layer elsewhere, is also learned.

[0004] Generally as an epitaxial grown method of SiC, the heat CVD method is used. In this heat CVD method Heat a silicon substrate to about 1300-degree C elevated temperature, and it is set under the pressure of 200Torr extent. A silane (SiH₄), a propane (C three H₈), and hydrogen (H₂) are supplied in a reaction chamber as material gas, reaction decomposition of these is carried out, and the SiC epitaxial layer is formed on a silicon substrate. In addition, as a flow rate of each material gas, 200 [SCCM] and a propane are set to 200 [SCCM], and hydrogen is set to 200 [SCCM], and let a silane be 1.0 [part for mm³/] extent as a membrane formation rate, for example. Moreover, as material gas for dopants to such a

SiC epitaxial layer, the hydride of the 5th group elements of a periodic table, such as phosphoretted hydrogen (PH₃) and an arsine (AsH₃), is used as an object for N type, and the hydride of the 3rd group elements of a periodic table, such as diboron hexahydride (B₂H₆), is used as an object for P type.

[0005] Moreover, as a light emitting device, although offer of high brightness blue LED (light emitting diode) was desired conventionally, gallium nitride (it is hereafter described as GaN) attracts attention as a crystal ingredient of the luminous layer used for such high brightness blue [in recent years] LED (light emitting diode) (barrier layer), i.e., a PN-junction layer.

[0006] It is the epitaxial layer (however, the epitaxial layer of GaN has a common thing with many crystal defects) as such a single crystal of GaN. also in this invention, the "GaN epitaxial layer" is used in the semantics containing what has many crystal defects. In order to form, as a crystal substrate usually The field (0001) of a sapphire (aluminum 2O₃) substrate, Epitaxial growth is carried out by the MOCVD method (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) for the ability coming using the field (111) of a spinel (MgAl 2O₄) substrate.

[0007] A sapphire substrate is heated to an about 1000–1040–degree C elevated temperature, TMG (trimethylgallium), NH₃, and hydrogen are supplied in a reaction chamber as material gas under the pressure of 200Torr extent, reaction decomposition of these is carried out, and, specifically, the GaN epitaxial layer is formed on a sapphire substrate. In addition, as a flow rate of each material gas, TMG is 1 [SCCM] and NH₃, for example. 20 [SLM] and hydrogen are set to 30 [SCCM], and let them be 1.8 (at [time of mum/]) extent as a membrane formation rate. Moreover, as material gas for dopants to such a SiC epitaxial layer, the silane of a minute amount is used as an object for N type, and the bis-cyclo PENTAJINIERU magnesium (Cp₂ Mg) of a minute amount is used as an object for P type.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the formation approach of the aforementioned SiC epitaxial layer, since the temperature of epitaxial growth is as high as about 1300 degrees C, the big limit about the ingredient produced on a substrate before formation of this epitaxial layer will be received. Moreover, also in the formation approach of a GaN epitaxial layer, there was un-arranging [that the temperature of epitaxial growth is as high as 1000–1040 degrees C too, formation of superlattice is difficult since a configuration element is spread in the direction of epitaxial layer thickness, and carbon will mix and crystallinity will get worse etc.].

[0009] Moreover, especially, by the formation approach of a GaN epitaxial layer, between a sapphire substrate and the epitaxial layer obtained, since that coefficient of thermal expansion differs from sapphire substrate; 7.5×10^{-6} /degree K and GaN(a-axis); 5.59×10^{-6} /degree K greatly, a big thermal strain will occur between a substrate and an epitaxial layer according to the difference of this coefficient of thermal expansion. That is, if the GaN epitaxial layer on the sapphire substrate obtained from carrying out at a 1000–1040–degree C elevated temperature by doing in this way is returned to a room temperature as described above, a big thermal strain will generate formation of a GaN epitaxial layer between a substrate and an epitaxial layer according to the difference of the aforementioned coefficient of thermal expansion.

[0010] furthermore, MOCVD used for formation of the heat CVD method used for formation of a SiC epitaxial layer, or a GaN epitaxial layer -- in law SiH₄ and C three H₈ TMG and NH₃ etc., since the reaction effectiveness of material gas is as low as several % or less When the rate discharged among these material gas while it has been unreacted increased, and cost started these recovery and the amount of the material gas used itself also increased, increase of a manufacturing cost was caused.

[0011] Moreover, in recent years, also in which semiconductor device, monolithic-ized equipment is desired in order to attain the miniaturization and high integration. For example, offer is desired, although these were formed on the same crystal layer or the same substrate also about the semiconductor device which is made to drive a light emitting device and this, or performs the control in order to attain miniaturization and high integration.

[0012] This invention was made in view of said situation, the place made into the purpose is faced carrying out crystal growth of silicon carbide and the gallium nitride, and forming an epitaxial layer, these epitaxial layers can be formed at low temperature, and it is in offering the formation approach of the epitaxial layer which can prevent that a big thermal strain occurs between the epitaxial layers and substrates which are obtained by this.

[0013]

[Means for Solving the Problem] By the formation approach of the epitaxial layer of this invention, it made to carry out crystal growth of the silicon carbide with a catalyst CVD method, to form a SiC epitaxial layer on a silicon substrate, to carry out crystal growth of the gallium nitride with a catalyst CVD method, and to

form a GaN epitaxial layer on the obtained SiC epitaxial layer, into the solution means of said technical problem.

[0014] In a catalyst CVD method, about the energy to which the chemical reaction of the material gas is carried out, it supplies with a catalyst object fundamentally, and since the required energy in a substrate is the part to which epitaxial growth (single crystal growth) of the generated silicon carbide or the GaN is carried out, i.e., a part required for silicon carbide and the molecule of GaN to align, it becomes possible to make whenever [stoving temperature / of the substrate itself] into low temperature 800 degrees C or less.

[0015] Therefore, according to the formation approach of this epitaxial layer, it is prevented that a big thermal strain occurs between the GaN epitaxial layers and substrates which are obtained from the ability of epitaxial growth especially of the GaN to be comparatively carried out at low temperature. Moreover, as mentioned above, it becomes possible to raise that reaction effectiveness by making heating with this catalyst object into the elevated temperature which material gas fully activates, in order to heat and activate material gas with a catalyst object in a catalyst CVD method, and increase of a manufacturing cost is suppressed.

[0016]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained in detail. Drawing 1 is drawing for explaining the example of 1 operation gestalt of the formation approach of the epitaxial layer in this invention.

[0017] In order to make this order carry out epitaxial growth (crystal growth) of SiC and the GaN on the same silicon substrate, first, as shown in drawing 1 (a), a silicon substrate 1 is prepared, and this silicon substrate 1 is washed and it dries. Next, with catalyst CVD system 50 shown in drawing 2, silicon substrate 1 front face is made to carry out crystal growth of the silicon carbide (SiC) with a catalyst CVD method, and as shown in drawing 1 (b), the SiC epitaxial layer 2 is formed on silicon substrate 1 front face.

[0018] Here, if that outline configuration is explained about catalyst CVD system 50 shown in drawing 2, this catalyst CVD system 50 was equipped with the reaction chamber 51 which processes a processed object, and the plenum chamber 52 which leads to this, it was constituted, a turbo molecular pump 53 and a rotary pump 54 are connected to this order in a reaction chamber 51, and the turbo molecular pump 55 and the rotary pump 56 are similarly connected to the plenum chamber 52 at this order.

[0019] The material gas piping 57 connected to the material gas source of supply for deposition (illustration abbreviation) through the reactant gas control system (illustration abbreviation) is formed in the reaction chamber 51, and the material gas for deposition is supplied in a reaction chamber 51 from this material gas piping 57. Moreover, the substrate holder (susceptor) 58 for setting the silicon substrate 1 used as a processed object is formed in that upper part in the reaction chamber 51, and the heater 59 and the thermocouple 60 are formed in this substrate holder 58.

[0020] A sample can be heated now through the substrate holder 58 at a heater 59 on the basis of such a configuration, and the temperature of the substrate holder 58 is detected with a thermocouple 60 on it, and the degree of heating at a heater 59 can be controlled now by the substrate holder 58 on it. In addition, as said substrate holder 58, a SiC coat graphite susceptor is used, for example.

[0021] The shutter 61 is arranged under this substrate holder 58, and the catalyst object 62 is further arranged in that lower part. It consists of a filament which wound the tungsten thin line around the coiled form, and connects with the power source 63 arranged outside a reaction chamber 51, and heating maintenance of the catalyst object 62 is carried out by from now on supplying power at about 1600-1800 degrees C. Moreover, this catalyst object 62 has been arranged above the material gas feed hopper in the reaction chamber 51 of said material gas piping 58 (illustration abbreviation), heats the material gas for deposition supplied from the material gas piping 58, and it decomposes and it activates this.

[0022] In addition, the reactant gas control system which the material gas piping 57 connects SiH₄, C three H₈, H₂, TMG (trimethylgallium), and NH₃ It is that by which connected with the reaction chamber 51 and the exhaust air pump (illustration abbreviation), and each source of gas supply was constituted from piping, respectively. A massflow controller (MFC) (illustration abbreviation) and a regulator valve (illustration abbreviation) are prepared into piping of each reactant gas, and, thereby, supply and its halt of gas into a reaction chamber 51, and its flow rate are controlled.

[0023] With such catalyst CVD system 50 of a configuration, as mentioned above, in order to form the silicon epitaxial layer 4 alternatively on silicon substrate 1 front face, the silicon substrate 1 shown in drawing 1 (a) is set to the substrate holder 58 via the plenum chamber 52 of catalyst CVD system 50.

[0024] Next, a turbo molecular pump 55 and a rotary pump 56 are operated, the inside of a reaction

chamber 51 is decompressed to about one to 2×10^{-6} Pa, and the moisture and oxygen which especially held this condition for about 5 minutes, and were carried in in the reaction chamber 51 are exhausted. [0025] Subsequently, by 200 degrees C – about 1000 degrees C and this example, heating maintenance of the silicon substrate 1 is carried out through the substrate holder 58 at 800 degrees C at a heater 59. Moreover, a sink, its flow rate, and the pressure in a reaction chamber 51 are controlled for hydrogen from said reactant gas control system to a predetermined value in a reaction chamber 51. It is referred to as about 0.1–15Pa about the pressure in a reaction chamber 51, and is set as 1.0Pa in this example. Moreover, it is referred to as 90 [SCCM] about a flow rate.

[0026] Subsequently, by turning ON a power source 63, it energizes on the catalyst object 62 and the temperature is raised to about 1600–1800 degrees C. In this example, it is set as 1800 degrees C. And it holds for 10 minutes in this condition.

[0027] Subsequently, while introducing these in a reaction chamber 51 also about a silane (SiH_4) and a propane (C three H_8) from said reactant gas control system, the flow rate of hydrogen is also adjusted. That is, in this example, material gas is supplied in a reaction chamber 51, using a propane flow rate as 200 [SCCM] for a hydrogen flow rate using 100 [SCCM] and a silane flow rate as 100 [SCCM].

[0028] Thus, if material gas is supplied in a reaction chamber 51, SiC will grow epitaxially on silicon substrate 1 front face at the membrane formation rate which is 50 nm/min extent. In this example, the SiC epitaxial layer 2 with a thickness of 2.0 micrometers was formed by introducing material gas in a reaction chamber 51 for 40 minutes, and carrying out epitaxial growth.

[0029] Thus, the flow rate of silane gas and a liquefied petroleum gas will be made into zero, respectively, and pouring only hydrogen gas according to said reactant gas control system, if the SiC epitaxial layer 3 is formed is continued. And if this condition is continued for 5 minutes, the electric power supply to the catalyst object 62 will be stopped, and that temperature will be lowered. Subsequently, the flow rate of hydrogen gas is also made into zero, decompresses the inside of a reaction chamber 51 further to about one to 2×10^{-6} Pa, and exhausts the silane and propane which especially held this condition for about 5 minutes, and were introduced in the chamber. Then, a silicon substrate 1 is taken out to the exterior of atmospheric pressure via a plenum chamber 52.

[0030] Subsequently, the silicon substrate 1 in which this SiC epitaxial layer 2 was formed is washed first that a GaN epitaxial layer should be formed on the SiC epitaxial layer 2 formed in this way, and it dries. Subsequently, with catalyst CVD system 50 shown in drawing 2, like the case of said SiC epitaxial layer dimorphism **, crystal growth of the GaN is carried out with a catalyst CVD method on this epitaxial layer 2, and as shown at drawing 1 (c), the GaN epitaxial layer 3 is formed on SiC epitaxial layer 2 front face.

[0031] That is, by 100 degrees C – about 800 degrees C and this example, heating maintenance of the silicon substrate 1 is carried out through the substrate holder 58 at 400 degrees C at a heater 59. Moreover, a sink, its flow rate, and the pressure in a reaction chamber 51 are controlled for hydrogen from said reactant gas control system to a predetermined value in a reaction chamber 51. It is referred to as about 0.1–15Pa about the pressure in a reaction chamber 51, and is set as 1.0Pa in this example. Moreover, it is referred to as 90 [SCCM] about a flow rate.

[0032] Subsequently, by turning ON a power source 63, it energizes on the catalyst object 62 and the temperature is raised to about 1600–1800 degrees C. In this example, it is set as 1800 degrees C. And it holds for 10 minutes in this condition. Subsequently, said reactant gas control system to TMG (trimethylgallium) and NH_3 While introducing, the flow rate of hydrogen is adjusted. Here, it is the flow rate of 250 [SCCM] and TMG (trimethylgallium), for example about the flow rate of hydrogen 1.7micromol/min and NH_3 A flow rate is set to 150 [SCCM].

[0033] Thus, if material gas is supplied in a reaction chamber 51, GaN will grow epitaxially on SiC epitaxial layer 2 front face at the membrane formation rate which is 100 nm/min extent. In this example, the GaN epitaxial layer 3 with a thickness of 4.0 micrometers was formed by introducing material gas in a reaction chamber 51 for 40 minutes, and carrying out epitaxial growth.

[0034] Thus, when forming the GaN epitaxial layer 3, it is TMG and NH_3 by said reactant gas control system. The flow rate of gas is made into zero and pouring only hydrogen gas is continued. And if this condition is continued for 5 minutes, the electric power supply to the catalyst object 62 will be stopped, and that temperature will be lowered. Subsequently, TMG and NH_3 which also made the flow rate of hydrogen gas zero, decompressed the inside of a reaction chamber 51 further to about one to 2×10^{-6} Pa, especially held this condition for about 5 minutes, and were introduced in the chamber It exhausts. Then, a silicon substrate 1 is taken out to the exterior of atmospheric pressure via a plenum chamber 52.

[0035] According to the formation approach of this epitaxial layer, since the SiC epitaxial layer 2 and the

GaN epitaxial layer 3 are formed with a catalyst CVD method, receiving a limit about the class of formation ingredient of the various components which can make whenever [stoving temperature / of the substrate itself] low temperature 800 degrees C or less, and can form these epitaxial layers 2 and 3, therefore are produced on a silicon substrate 1 before formation of these epitaxial layers 2 and 3 etc. decreases.

[0036] Moreover, the obtained SiC epitaxial layer 2 functions as the barrier of the GaN epitaxial layer 3, and a buffer layer, and Si in the SiC epitaxial layer 2 serves as a dopant in the GaN epitaxial layer 3 further. Moreover, it can prevent that a big thermal strain occurs in the GaN epitaxial layer 3 obtained from the ability of epitaxial growth especially of the GaN to be comparatively carried out at low temperature. Moreover, in a catalyst CVD method, since material gas is heated and activated with the catalyst object 62, by making heating with this catalyst object 62 into the elevated temperature which material gas fully activates, that reaction effectiveness can be raised, therefore increase of a manufacturing cost can be suppressed.

[0037]

[Effect of the Invention] As explained above, it can prevent that the thermal strain big since it is the approach of forming each epitaxial layer with a catalyst CVD method with possible the formation approach of the epitaxial layer of this invention making whenever [stoving temperature / of the substrate itself] low temperature between the epitaxial layers (especially GaN epitaxial layer) and substrates which are obtained occurs, and a good SiC epitaxial layer and a GaN epitaxial layer can be formed.

[0038] Moreover, since material gas is heated and activated with a catalyst object in a catalyst CVD method, it can suppress that can raise that reaction effectiveness by making heating with this catalyst object into the elevated temperature which material gas fully activates, therefore originate in reaction effectiveness being low, and a manufacturing cost increases.

[0039] moreover, from forming a SiC epitaxial layer and a GaN epitaxial layer on the same silicon substrate For example, the semiconductor device made from silicon (a component simple substance, IC) is formed in a silicon substrate. By forming the semiconductor device made from SiC (LED, IC) in a SiC epitaxial layer, and forming the semiconductor device made from GaN (LED, LD, IC) in a GaN epitaxial layer The compounded semiconductor device can be formed, and while being able to attain miniaturization and high integration by forming on the same substrate in that case, densification of electric wiring can be attained. Furthermore, it also becomes possible by forming each semiconductor device on the same substrate in this way to deliver and receive the signal between semiconductor devices not with the electrical and electric equipment but with light.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] (a) - (c) is an important section sectional side elevation for explaining the example of 1 operation gestalt of the formation approach of the epitaxial layer of this invention in order of a process.

[Drawing 2] It is the outline block diagram of the catalyst CVD system used for this invention.

[Description of Notations]

1 -- A silicon substrate, 2 -- A SiC epitaxial layer, 3 -- GaN epitaxial layer

[Translation done.]

* NOTICES *

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

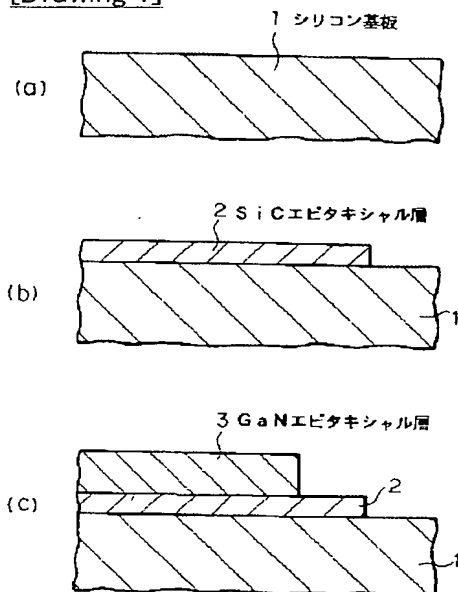
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

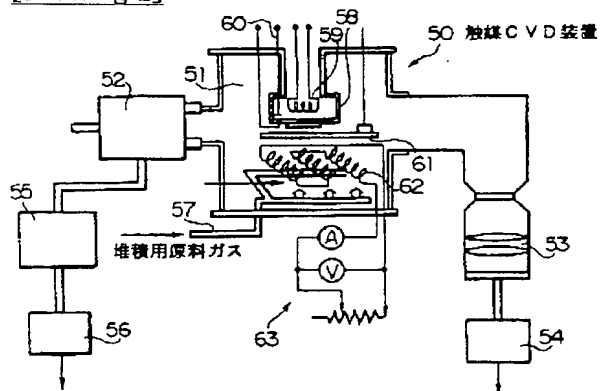
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-44124
(P2001-44124A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/30		C 2 3 C 16/30	5 F 0 4 1
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20	5 F 0 4 5
33/00		33/00	C 5 F 0 5 2

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-213244

(22) 出願日 平成11年7月28日 (1999.7.28)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 矢元 久良

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72) 発明者 矢木 肇

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(74) 代理人 100086298

弁理士 船橋 國則

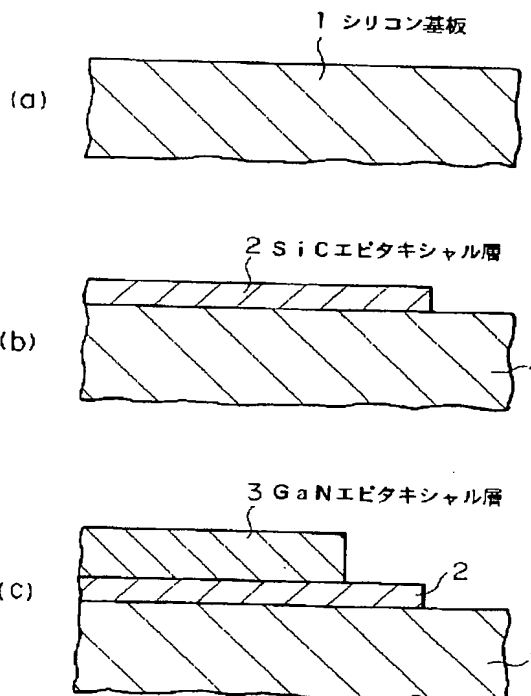
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エピタキシャル層の形成方法

(57) 【要約】

【課題】 炭化ケイ素および窒化ガリウムを結晶成長させてエピタキシャル層を形成するに際して、これらエピタキシャル層を低温で形成することができ、これにより得られるエピタキシャル層と基板との間に大きな熱歪が発生するのを防止することができる、エピタキシャル層の形成方法の提供が望まれている。

【解決手段】 シリコン基板1上に触媒CVD法で炭化ケイ素を結晶成長させてSiCエピタキシャル層2を形成し、得られたSiCエピタキシャル層2上に触媒CVD法で窒化ガリウムを結晶成長させてGaNエピタキシャル層3を形成する、エピタキシャル層の形成方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板上に触媒CVD法で炭化ケイ素を結晶成長させてSiCエピタキシャル層を形成し、得られたSiCエピタキシャル層上に触媒CVD法で窒化ガリウムを結晶成長させてGaNエピタキシャル層を形成することを特徴とするエピタキシャル層の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、炭化ケイ素エピタキシャル層と窒化ガリウムエピタキシャル層とを同じシリコン基板上に形成するエピタキシャル層の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、半導体装置と呼ばれるものには、ダイオードや各種のトランジスタ等の半導体素子、さらには発光ダイオード(LED)や半導体レーザ(LD)等の発光素子など、種々のものがある。

【0003】このような半導体装置として例えば半導体素子を形成するには、通常はシリコンウエハに直接素子を形成するが、他に、例えばシリコンウエハ(シリコン基板)上に炭化ケイ素(SiC)のエピタキシャル層を形成し、このSiCエピタキシャル層に素子を形成する方法も知られている。

【0004】SiCのエピタキシャル成長法としては、熱CVD法が一般に用いられており、この熱CVD法では、シリコン基板を約1300℃の高温に加熱し、200 Torr程度の圧力下において、原料ガスとしてシラン(SiH₄)、プロパン(C₃H₈)、水素(H₂)を反応室内に供給し、これらを反応分解させ、シリコン基板上にSiCエピタキシャル層を形成している。なお、各原料ガスの流量としては、例えばシランが200[SCCM]、プロパンが200[SCCM]、水素が200[SCCM]とされ、成膜速度としては1.0[μm/分]程度とされる。また、このようなSiCエピタキシャル層に対するドーパント用の原料ガスとしては、N型用として例えばフォスフィン(PH₃)、アルシン(AsH₃)などの周期律表第5族元素の水素化物が用いられ、P型用としてジボラン(B₂H₆)などの周期律表第3族元素の水素化物が用いられる。

【0005】また、発光素子として、従来より高輝度青色LED(発光ダイオード)の提供が望まれていたが、近年、このような高輝度青色LED(発光ダイオード)に用いられる発光層(活性層)、すなわちPN接合層の結晶材料として、窒化ガリウム(以下、GaNと記す)が注目されている。

【0006】このようなGaNの単結晶としてそのエピタキシャル層(ただし、GaNのエピタキシャル層は結晶欠陥が多いのが一般的であり、本発明においても「GaNエピタキシャル層」は結晶欠陥が多いものを含んだ

意味で用いている。)を形成するには、通常、結晶基板としてサファイヤ(Al₂O₃)基板の(0001)面や、スピネル(MgAl₂O₄)基板の(111)面を用い、これにMOCVD法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)でエピタキシャル成長させている。

【0007】具体的には、サファイヤ基板を1000~1040℃程度の高温に加熱し、200 Torr程度の圧力下において、原料ガスとしてTMG(トリメチルガリウム)、NH₃、水素を反応室内に供給し、これらを反応分解させ、サファイヤ基板上にGaNエピタキシャル層を形成している。なお、各原料ガスの流量としては、例えばTMGが1[SCCM]、NH₃が20[SLM]、水素が30[SCCM]とされ、成膜速度としては1.8[μm/時]程度とされる。また、このようなSiCエピタキシャル層に対するドーパント用の原料ガスとしては、N型用として例えば微量のシランが用いられ、P型用として微量のビスシクロペンタジニールマグネシウム(Cp₂Mg)が用いられる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところが、前記のSiCエピタキシャル層の形成方法では、エピタキシャル成長の温度が1300℃程度と高いため、このエピタキシャル層の形成以前に基板上に作製する材料などについて大きな制限を受けてしまう。また、GaNエピタキシャル層の形成方法においても、やはりエピタキシャル成長の温度が1000~1040℃と高く、エピタキシャル層の厚さ方向に構成元素が拡散してしまうため、超格子の形成が困難であり、また炭素が混入して結晶性が悪化してしまうなどといった不都合があった。

【0009】また、特にGaNエピタキシャル層の形成方法では、サファイヤ基板と得られるエピタキシャル層との間で、その熱膨張係数がサファイヤ基板; 7.5×10⁻⁶/°K、GaN(a軸); 5.59×10⁻⁶/°Kと大きく異なることから、この熱膨張係数の差により、基板とエピタキシャル層との間に大きな熱歪が発生してしまう。すなわち、GaNエピタキシャル層の形成は前記したように1000~1040℃の高温で行うことから、このようにして得られたサファイヤ基板上的GaNエピタキシャル層を室温に戻すと、前記の熱膨張係数の差により、基板とエピタキシャル層との間に大きな熱歪が発生してしまうのである。

【0010】さらに、SiCエピタキシャル層の形成に用いられる熱CVD法やGaNエピタキシャル層の形成に用いられるMOCVD法では、SiH₄、C₃H₈やTMG、NH₃等の原料ガスの反応効率が数%以下と低いいため、これら原料ガスのうち未反応のままで排出してしまう割合が多くなってしまい、これらの回収にコストがかかり、また原料ガスそのものの使用量も増えることによって製造コストの増大を招いていた。

【0011】また、近年では、いずれの半導体装置にお

いても、その小型化、高集積化を図るべく、例えばモノリシック化された装置が望まれている。例えば、発光素子とこれを駆動させるあるいはその制御を行う半導体素子についても、小型化、高集積化を図るべく、これらを同一結晶層上、あるいは同一基板上に形成したものの提供が望まれているのである。

【0012】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、炭化ケイ素および窒化ガリウムを結晶成長させてエピタキシャル層を形成するに際して、これらエピタキシャル層を低温で形成することができ、これにより得られるエピタキシャル層と基板との間に大きな熱歪が発生するのを防止することができるエピタキシャル層の形成方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明のエピタキシャル層の形成方法では、シリコン基板上に触媒CVD法で炭化ケイ素を結晶成長させてSiCエピタキシャル層を形成し、得られたSiCエピタキシャル層上に触媒CVD法で窒化ガリウムを結晶成長させてGaNエピタキシャル層を形成することを前記課題の解決手段とした。

【0014】触媒CVD法では、原料ガスを化学反応させるエネルギーについては基本的に触媒体によって供給し、基板での必要なエネルギーは生成した炭化ケイ素あるいはGaNをエピタキシャル成長（単結晶成長）させる分、すなわち炭化ケイ素やGaNの分子が整列するのに必要な分だけであるため、基板自体の加熱温度を例えば800℃以下の低温にすることが可能になる。

【0015】したがって、このエピタキシャル層の形成方法によれば、特にGaNを比較的低温でエピタキシャル成長させることができることから、得られるGaNエピタキシャル層と基板との間に大きな熱歪が発生することが防止される。また、前述したように触媒CVD法では原料ガスを触媒体で加熱し活性化させるため、この触媒体での加熱を原料ガスが十分に活性化する高温とすることで、その反応効率を高めることが可能になり、製造コストの増大が抑えられる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明を詳しく説明する。図1は、本発明におけるエピタキシャル層の形成方法の一実施形態例を説明するための図である。

【0017】同じシリコン基板上にSiCとGaNとをこの順にエピタキシャル成長（結晶成長）させるには、まず、図1(a)に示すようにシリコン基板1を用意し、このシリコン基板1を洗浄し乾燥する。次に、図2に示す触媒CVD装置50により、触媒CVD法によってシリコン基板1表面に炭化ケイ素（SiC）を結晶成長させ、図1(b)に示すようにシリコン基板1表面上にSiCエピタキシャル層2を形成する。

【0018】ここで、図2に示した触媒CVD装置50についてその概略構成を説明すると、この触媒CVD装

置50は、被処理体の処理を行う反応室51と、これに通じる前室52とを備えて構成されたもので、反応室51にはターボ分子ポンプ53、ロータリーポンプ54がこの順に接続され、同様に前室52にもターボ分子ポンプ55、ロータリーポンプ56がこの順に接続されている。

【0019】反応室51には、反応ガス制御系（図示略）を介して堆積用原料ガス供給源（図示略）に接続した原料ガス配管57が設けられており、この原料ガス配管57から反応室51内に堆積用原料ガスが供給されるようになっている。また、反応室51内においては、その上部に被処理体となるシリコン基板1をセットするための基板ホルダ（サセプタ）58が設けられており、この基板ホルダ58にはヒータ59、熱電対60が設けられている。

【0020】このような構成のもとに基板ホルダ58では、ヒータ59によって基板ホルダ58を介して試料を加熱できるようになっており、また熱電対60によって基板ホルダ58の温度を検知してヒータ59による加熱の度合いを制御できるようになっている。なお、前記基板ホルダ58としては、例えばSiCコートグラファイトサセプタが用いられる。

【0021】この基板ホルダ58の下方にはシャッター61が配設されており、さらにその下方には触媒体62が配設されている。触媒体62は、例えばタングステン細線をコイル状に巻回したフィラメントからなるもので、反応室51の外に配置された電源63に接続され、これから電力が供給されることによって1600～1800℃程度にまで加熱保持されるようになっている。また、この触媒体62は、前記原料ガス配管58の反応室51内における原料ガス供給口（図示略）の上方に配置されたもので、原料ガス配管58から供給された堆積用原料ガスを加熱してこれを分解、活性化させるようになっている。

【0022】なお、原料ガス配管57が接続する反応ガス制御系は、SiH₄、C₂H₂、H₂、TMG（トリメチルガリウム）、NH₃の各ガス供給源がそれぞれ配管で反応室51と排気ポンプ（図示略）とに接続されて構成されたもので、各反応ガスの配管中にマスフローコントローラ（MFC）（図示略）と調整弁（図示略）とが設けられ、これにより反応室51内へのガスの供給とその停止や、その流量が制御されるようになっている。

【0023】このような構成の触媒CVD装置50により、前述したようにシリコン基板1表面上にシリコンエピタキシャル層4を選択的に形成するには、図1(a)に示したシリコン基板1を、触媒CVD装置50の前室52を経由して基板ホルダ58にセットする。

【0024】次に、ターボ分子ポンプ55、ロータリーポンプ56を作動させて反応室51内を1～2×10⁻⁶ Pa程度にまで減圧し、この状態を約5分保持して特に

反応室51内に持ち込まれた水分や酸素を排気する。

【0025】次いで、ヒータ59により基板ホルダ58を介してシリコン基板1を200℃～1000℃程度、本例では800℃に加熱保持する。また、反応室51内に前記反応ガス制御系から水素を流し、その流量と反応室51内の圧力とを所定の値に制御する。反応室51内の圧力については0.1～15Pa程度とし、本例では1.0Paに設定する。また、流量については90〔SCCM〕とする。

【0026】次いで、電源63をオンにすることによって触媒体62に通電し、その温度を1600～1800℃程度に上げる。本例では1800℃に設定する。そして、この状態で10分間保持する。

【0027】次いで、前記反応ガス制御系からシラン(SiH₄)、プロパン(C₃H₈)についてもこれらを反応室51内に導入するとともに、水素の流量も調整する。すなわち、本例では、水素流量を100〔SCCM〕、シラン流量を100〔SCCM〕、プロパン流量を200〔SCCM〕として、原料ガスを反応室51内に供給する。

【0028】このようにして原料ガスを反応室51内に供給すると、シリコン基板1表面に、SiCが50nm/min程度の成膜速度でエピタキシャル成長する。本例では、原料ガスを40分間反応室51内に導入してエピタキシャル成長させることにより、厚さ2.0μmのSiCエピタキシャル層2を形成した。

【0029】このようにしてSiCエピタキシャル層3を形成したら、前記反応ガス制御系によってシランガス、プロパンガスの流量をそれぞれゼロにし、水素ガスのみを流し続ける。そして、この状態を5分間続けたら、触媒体62への電力供給を停止してその温度を下げる。次いで、水素ガスの流量もゼロにし、さらに反応室51内を1～2×10⁻⁶Pa程度にまで減圧し、この状態を約5分保持して特にチャンバー内に導入したシランおよびプロパンを排気する。その後、シリコン基板1を前室52を経由して大気圧の外部に取り出す。

【0030】次いで、このように形成したSiCエピタキシャル層2上にGaNEピタキシャル層を形成すべく、まず、このSiCエピタキシャル層2を形成したシリコン基板1を洗浄し乾燥する。次いで、図2に示す触媒CVD装置50により、前記SiCエピタキシャル層2形成の場合と同様にしてこのエピタキシャル層2上に、触媒CVD法によってGaNEを結晶成長させ、図1(c)に示すようにSiCエピタキシャル層2表面上にGaNEピタキシャル層3を形成する。

【0031】すなわち、ヒータ59により基板ホルダ58を介してシリコン基板1を100℃～800℃程度、本例では400℃に加熱保持する。また、反応室51内に前記反応ガス制御系から水素を流し、その流量と反応室51内の圧力とを所定の値に制御する。反応室51内

の圧力については0.1～15Pa程度とし、本例では1.0Paに設定する。また、流量については90〔SCCM〕とする。

【0032】次いで、電源63をオンにすることによって触媒体62に通電し、その温度を1600～1800℃程度に上げる。本例では1800℃に設定する。そして、この状態で10分間保持する。次いで、前記反応ガス制御系からTMG(トリメチルガリウム)、NH₃を導入するとともに、水素の流量を調整する。ここでは、例えば水素の流量を250〔SCCM〕、TMG(トリメチルガリウム)の流量を1.7μmol/min、NH₃の流量を150〔SCCM〕とする。

【0033】このようにして原料ガスを反応室51内に供給すると、SiCエピタキシャル層2表面に、GaNEが100nm/min程度の成膜速度でエピタキシャル成長する。本例では、原料ガスを40分間反応室51内に導入してエピタキシャル成長させることにより、厚さ4.0μmのGaNEピタキシャル層3を形成した。

【0034】このようにしてGaNEピタキシャル層3を形成したら、前記反応ガス制御系によってTMG、NH₃ガスの流量をゼロにし、水素ガスのみを流し続ける。そして、この状態を5分間続けたら、触媒体62への電力供給を停止してその温度を下げる。次いで、水素ガスの流量もゼロにし、さらに反応室51内を1～2×10⁻⁶Pa程度にまで減圧し、この状態を約5分保持して特にチャンバー内に導入したTMG、NH₃を排気する。その後、シリコン基板1を前室52を経由して大気圧の外部に取り出す。

【0035】このエピタキシャル層の形成方法によれば、SiCエピタキシャル層2、GaNEピタキシャル層3を触媒CVD法で形成することから、基板自体の加熱温度を例えば800℃以下の低温にしてこれらエピタキシャル層2、3を形成することができ、したがってこれらエピタキシャル層2、3の形成以前に、シリコン基板1上に作製する各種構成要素の形成材料の種類などについて制限を受けることが少なくなる。

【0036】また、得られたSiCエピタキシャル層2がGaNEピタキシャル層3のバリアとして、またバッファ層として機能し、さらにSiCエピタキシャル層2中のSiはGaNEピタキシャル層3におけるドーパントとなる。また、特にGaNEを比較的低温でエピタキシャル成長させることができることから、得られるGaNEピタキシャル層3に大きな熱歪が発生することを防止することができる。また、触媒CVD法では原料ガスを触媒体62で加熱し活性化させるため、この触媒体62での加熱を原料ガスが十分に活性化する高温とすることで、その反応効率を高めることができ、したがって製造コストの増大を抑えることができる。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように本発明のエピタキシ

ャル層の形成方法は、基板自体の加熱温度を低温にすることが可能な触媒CVD法で各エピタキシャル層を形成する方法であるから、得られるエピタキシャル層（特にGaNエピタキシャル層）と基板との間に大きな熱歪が発生するのを防止して良好なSiCエピタキシャル層、GaNエピタキシャル層を形成することができる。

【0038】また、触媒CVD法では原料ガスを触媒体で加熱し活性化させるため、この触媒体での加熱を原料ガスが十分に活性化する高温とすることでその反応効率を高めることができ、したがって反応効率が低いことに起因して製造コストが増大するのを抑えることができる。

【0039】また、同一のシリコン基板上にSiCエピタキシャル層、GaNエピタキシャル層を形成することから、例えばシリコン基板にシリコン製の半導体素子（素子単体、IC）を形成し、SiCエピタキシャル層にSiC製の半導体素子（LED、IC）を形成し、G*

* aNエピタキシャル層にGaN製の半導体素子（LED、LD、IC）を形成することにより、複合した半導体装置を形成することができ、その場合に同一基板上に形成することで小型化、高集積化を図ることができる。さらに、このように同一基板上に各半導体素子を形成することで、半導体素子間の信号の授受を電気でなく光で行うことも可能になる。

【図面の簡単な説明】

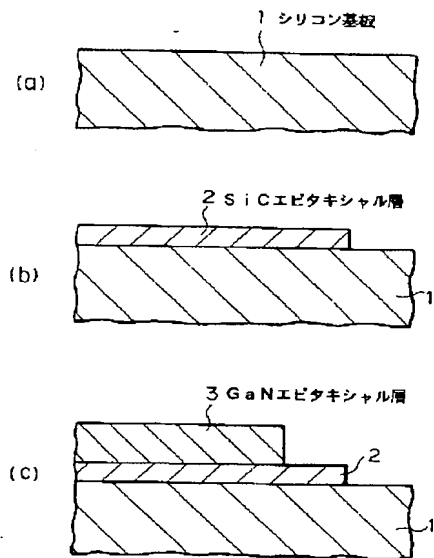
10 【図1】（a）～（c）は本発明のエピタキシャル層の形成方法の一実施形態例を工程順に説明するための要部側断面図である。

【図2】本発明に用いられる触媒CVD装置の概略構成図である。

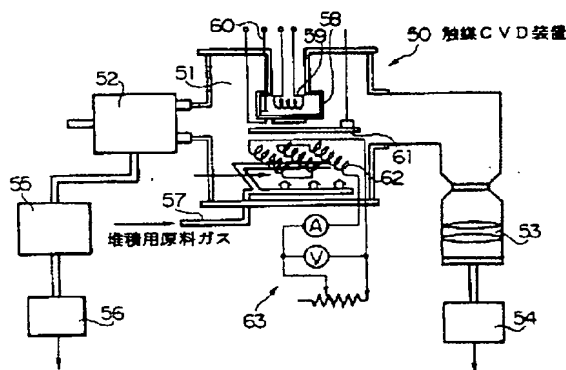
【符号の説明】

1…シリコン基板、2…SiCエピタキシャル層、3…GaNエピタキシャル層

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 山中 英雄
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72)発明者 佐藤 勇一
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

F ターム(参考) 4K030 AA06 AA09 AA11 AA13 AA17
BA08 BA37 BA38 BB02 BB13
CA04 FA10 FA17 LA12 LA18
5F041 AA40 CA33 CA40 CA67
5F045 AA03 AA06 AC01 AC07 AC08
AC12 AD06 AD07 AD08 AD09
AD10 AD11 AD12 AE19 AE21
AE23 AF03 BB12 CA10 CA12
CB01 DA63 DP05 DQ10 EF03
EF18 EK07 HA22
5F052 KA05